

УДК 66.045.53

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГРАДИРЕН
ЗАВОДА «ПОЛИМИР» ОАО «НАФТАН»**

*канд. техн. наук, доц. А.В. СПИРИДОНОВ; канд. техн. наук Е.В. САФРОНОВА
(Полоцкий государственный университет)*

Представлен сравнительный анализ работы вентиляторных и эжекционных градирен. Показаны их преимущества и недостатки. Рассмотрены особенности работы эжекторов в градирнях. Произведена оценка энергоэффективности при использовании эжекционных градирен. Показано, что вентиляторные градирни могут быть переоборудованы в эжекционные, причем реконструкция возможна с незначительными капитальными затратами: сохраняется корпус ранее функционирующей градирни, но меняется его обшивка; при необходимости производится ремонт несущих конструкций, устанавливается коллектор с эжекционными форсунками.

Ключевые слова: градирня, энергоэффективность, реконструкция, охладители, эжектор.

Введение. Охлаждение продуктов в нефтеперерабатывающей промышленности с 40 до 20 °С производится при помощи оборотной воды, охлажденной на градирнях. Для достижения еще более низкой температуры продукта могут применяться компрессионные установки. Из-за большого потребления электроэнергии такими установками отвод тепла от технологических продуктов становится в 10...15 раз дороже, чем с помощью оборотной воды. В энергетической, химической, нефтеперерабатывающей промышленности и других отраслях отвод тепла от промышленных аппаратов с помощью градирен характеризуется как способ, который обеспечивает экономию свежей воды около 95%.

Система охлаждения, построенная на основе испарительной градирни, наряду с достоинствами обладает рядом *недостатков*:

- низкое качество воды, ее загрязненность вследствие контакта с пылью окружающего градирню воздуха;
- загрязнение системы солями, которые постоянно накапливаются из-за непрерывного испарения воды. От каждого кубического метра водопроводной испарившейся воды в системе происходит накопление как минимум 100 г солевых отложений, что приводит к резкому уменьшению коэффициента теплопередачи на теплообменных поверхностях и, следовательно, эффективности теплообмена;
- развитие в системе водорослей и микроорганизмов, включая опасных бактерий, за счет активной аэрации;
- непрерывное окисление и коррозия металла;
- обледенение градирен в зимний сезон;
- отсутствие гибкости и точности регулировки температуры;
- постоянные затраты на воду и химические реагенты для очистки;
- большие потери давления в системе.

Экологические проблемы работы градирен возникают по мере роста производительности этих сооружений и их числа на промышленной площадке, а также с приближением производственных объектов к жилой застройке и транспортным магистралям. Основными вредными факторами, производимыми градирнями, являются шум и воздействие аэрозолей, выбрасываемых из градирен в окружающую среду. Вредное воздействие происходит в результате выброса капель оборотной воды в атмосферу, осадения капель на почву и поверхность окружающих объектов. В каплях могут содержаться ингибиторы коррозии и химические реагенты, добавляемые в оборотную воду для предотвращения биологических обрастаний. Кроме этого, в каплях могут присутствовать патогенные микроорганизмы, бактерии, вирусы, грибы. Некоторые микроорганизмы в градирнях при благоприятных для их жизнедеятельности условиях могут размножаться.

Капли воды распространяются в атмосфере в районе градирен, увлажняя поверхность земли и близко расположенные сооружения, а в зимний период вызывают обледенение самих градирен, поэтому при их возведении необходимо соблюдать допустимые минимальные расстояния до ближайших сооружений согласно СНиП II-89-80. Зона выпадения капельной влаги на поверхности земли имеет форму эллипса с большой осью, проходящей через центр градирни в направлении ветра. Размер зоны зависит от высоты градирни, скорости ветра, степени турбулентности воздуха в приземном слое, концентрации и крупности капель, а также от температуры и влажности атмосферного воздуха. При наличии в атмосферном воздухе газообразных примесей выходящая из градирен влага может с ними взаимодействовать и образовывать вредные для окружающей среды соединения (например, при взаимодействии влаги с окислами серы образуются вредные для человека сульфаты).

В зимнее время эксплуатация градирен осложняется из-за обмерзания их конструкций. Обледенение градирен может привести к аварийному их состоянию, вызывая деформации и обрушение оросителя вследствие дополнительных нагрузок от образовавшегося на нем льда (рис. 1).



Рисунок 1. – Разрушение водораспределительной системы из-за дополнительных нагрузок от образовавшегося на ней льда

Обмерзание градирни начинается обычно при температурах наружного воздуха ниже минус 10°C и происходит в местах, где входящий в градирню холодный воздух соприкасается с относительно небольшим количеством теплой воды. Внутреннее обледенение градирни является опасным, так как из-за интенсивного туманообразования оно может быть обнаружено только после разрушения оросителя. Поэтому в зимний период не следует допускать колебаний тепловой и гидравлической нагрузок, необходимо обеспечивать равномерное распределение охлаждаемой воды по площади оросителя и не допускать понижения плотности орошения на отдельных участках. В связи с большими скоростями входящего воздуха плотность орошения в вентиляторных градирнях в зимнее время целесообразно поддерживать не менее $10 \text{ м}^3/\text{м}^2$ (не ниже 40% от полной нагрузки). Критерием для определения необходимого расхода воздуха может служить температура охлажденной воды. Если расход поступающего воздуха регулировать таким образом, чтобы температура охлажденной воды была не ниже $+12...+15^{\circ}\text{C}$, обледенение градирен обычно не выйдет за пределы допустимого.

Уменьшение поступления в градирню холодного воздуха может быть достигнуто отключением вентилятора или переводом его на работу с пониженным числом оборотов. Исключить обледенение градирен можно путем подачи всей воды только на часть градирен с полным отключением остальных, иногда со снижением расхода циркуляционной воды. Нагнетательные вентиляторы подвержены обмерзанию. Это может быть вызвано двумя причинами: попаданием на вентилятор водяных капель изнутри градирни и рециркуляцией уходящего из градирни воздуха, содержащего мелкие капли воды и пар, который конденсируется при смешении с холодным наружным воздухом. Следует отметить, что неравномерное образование льда на лопастях может приводить к разбалансировке и вибрации вентилятора. Если в зимний период по какой-либо причине производилось отключение вентиляторов градирен, перед их пуском необходимо контролировать состояние обечаек, при обнаружении наледи ее необходимо удалить во избежание поломки рабочих колес вентиляторов.

Альтернативным решением этой проблемы могут стать охладители эжекционного типа, которые относятся к прямоточным распылительным аппаратам и позволяют снизить удельные материальные и эксплуатационные затраты. Вода впрыскивается в аппарат через систему форсунок под избыточным давлением $0,2...0,4 \text{ МПа}$. Максимальной энергетической эффективности распыления соответствует перепад давления на форсунке $0,2...0,3 \text{ МПа}$. Воздух эжектируется потоком капель и вовлекается в область зоны контакта. Достигнув стенок в зоне сепарации, капли воды теряют импульс и стекают в виде пленок в нижнюю часть аппарата. Форсунка нового поколения с пульсирующим факелом (рис. 2) начинает работать с напора $0,09 \text{ кг/см}^2$. При напоре $0,02 \text{ МПа}$ высота факела составляет 2 м , диаметр факела 4 м , производительность $15 \text{ м}^3/\text{ч}$ при пульсирующем режиме работы [7–8].

Использование эжекционно-струйных форсунок, позволяющих получать сплошной факел распыла, незаменимо для создания эжекционных контуров охладителей. Форсунки почти не замерзают в зимний период, так как через них постоянно проходит теплая вода, а сами они изготовлены из материала с низкой теплопроводностью. Форсунки расположены таким образом, что при остановке градирни часть воды из них сливается. При этом в форсунке остается незначительное ее количество, которое при замерзании не приведет к разрушению элементов. Оставшейся без воды части зазора форсунки достаточно, чтобы при повторном включении градирни обеспечить приток горячей воды через форсунку, обеспечив тем самым ее разогрев и освобождение ото льда.

Существующие вентиляторные градирни могут быть переоборудованы в градирни эжекционно-брызгального типа. При этом корпусом создаваемой градирни служит корпус вентиляторной, заменяется лишь обшивка корпуса, при необходимости производится ремонт несущих конструкций. Устанавливается коллектор с эжекционными форсунками, причем коллектор выполнен и установлен так, что форсунки располагаются в воздухоходных окнах и обращены внутрь градирни. Во вновь возводимую градирню по периметру устанавливаются эжекционные модули. Форсунки располагаются напротив окон эжекционных модулей в несколько рядов. В процессе работы корпус градирни служит только для направления водовоздушных потоков.

Сравнительная характеристика различных типов градирен приведена в таблице 1.

Таблица 1. – Сравнительная характеристика вентиляторных и эжекционных градирен

Вентиляторная градирня	Эжекционная градирня
Элементы внутренней насадки подвержены разрушению и труднодоступны для замены	Элементы внутренней насадки отсутствуют
Разбрызгивающие форсунки подвержены засорению и труднодоступны для осмотра и чистки	Разбрызгивающие форсунки легкодоступны для чистки
Для чистки и ремонта оросителя необходимо выключить градирню	Можно чистить форсунки без остановки всей градирни
Перегорают двигатели вентиляторов, нарушается балансировка, высокий уровень шума и вибрации	Вентиляторы отсутствуют, градирня является малошумной, нет вибрации
В зимнее время повторный пуск после остановки практически невозможен	Свободно работает в режиме включения / выключения в любое время года
Обмерзание и ледообразование приводит к разрушению внутренних элементов	Не разрушается при ледообразовании и обмерзании в зимний период года
Со временем снижается эффективность работы вследствие образования загрязнений	Эффективность работы постоянна весь период эксплуатации
Имеет типовые габаритные размеры	Может быть приспособлена к любому размеру

Охлаждение воды в установке происходит за счет тепломассообмена на высокоразвитой поверхности контакта водяных капель и воздуха, который подается в установку за счет эффекта эжекции (рис. 3).



Рисунок 2. – Эжекционная форсунка



Рисунок 3. – Принцип работы эжекционной форсунки

Эффект эжекции создается потоком водяных капель, исходящим под давлением из эжекционных форсунок, разбрызгивающие сопла которых направлены внутрь корпуса градирни, в специальные каналы эжекционных модулей, установленных внутри градирни. Сплошной водовоздушный поток перекрывает эжекционный канал и затягивает за собой с большой скоростью значительный объем воздуха.

Эжекционная градирня обладает возможностью эффективного регулирования ее теплосъема. Чем выше давление воды на соплах, тем мельче капля и выше скорость ее вылета. Соответственно, увеличивается эффект эжекции и тем самым осуществляется больший захват эжектируемого воздуха. Кроме того, мелкая капля при одном и том же объеме воды имеет большую поверхность контакта с воздухом, чем крупная, что вместе с повышенной подачей воздуха приводит к увеличению тепломассообмена.

Корпус градирни (рис. 4) выполняется в виде одного или нескольких модулей, каждый из которых имеет один вертикальный эжекционный канал и один горизонтальный. Углы раскрытия каналов соответствуют максимальному коэффициенту эжекции при работе совместно с эжекционно-струйными форсунками. Напорные коллекторы эжекционных контуров вынесены за пределы воздуховодных окон и размещены таким образом, чтобы улучшить условия входа воздуха. В процессе работы корпус градирни служит только для направления водовоздушных потоков. Охлажденная вода из корпусов сразу стекает в соответствующую секцию накопителя.

Замена каплеуловителя при переоборудовании позволит снизить сопротивление воздуха на выходе из градирни, увеличив тем самым скорость воздуха на входе, что повысит эффективность работы градирни. Применение современных каплеуловителей позволяет снизить унос капель до минимума (эффективность каплеулавливания 99,9%), что сократит объем подпиточной воды и исключит обледенение градирни в зимний период (устойчивы к резким перепадам температур).

Рассмотрим пример реконструкции водоблока завода «Полимир». Прежде всего, произведем энергетическую оценку электрических машин, входящих в водооборотные циклы (ВОЦ). Оценка потребления электроэнергии водооборотными циклами Завода «Полимир» ОАО «Нафтан» приведена на рисунке 5. В таблице 2 представлены типы и характеристики градирен и насосов, входящих в водооборотные циклы.

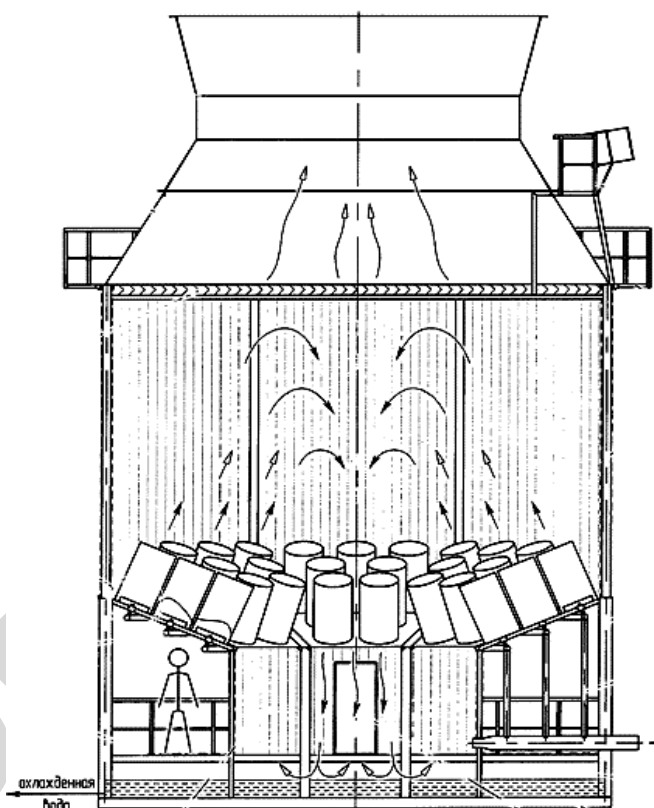


Рисунок 4. – Схема модернизированной эжекционной градирни

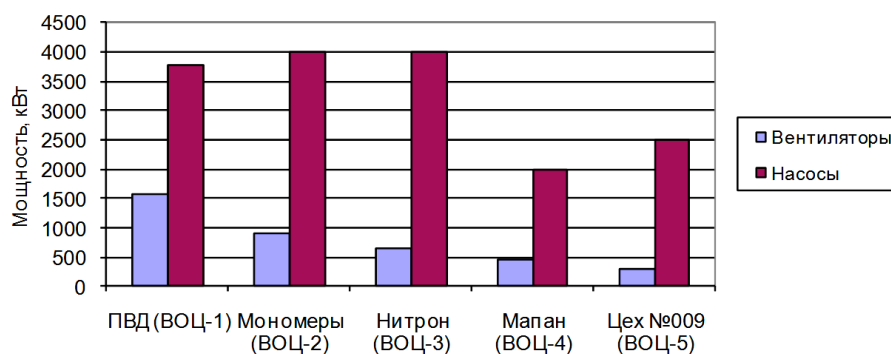


Рисунок 5. – Оценка потребления электроэнергии вентиляторами и насосами градирен производств Завода «Полимир» ОАО «Нафтан»

Как видно из диаграммы, доля электроэнергии, потребляемая вентиляторами, составляет примерно 20% от суммарного количества, используемого водоблоками завода «Полимир». Поэтому эконо-

мически целесообразно по мере износа и выхода из строя вентиляторных градири производить их замену на эжекционные. Следует отметить, что в настоящее время производство «Нитрон» не функционирует, но имеются градири, которые могут быть модернизированы и использованы во время пиковых нагрузок на градири в жаркие дни летом.

Вместе с тем на водоблоках завода «Полимир» производится стабилизационная обработка воды реагентами по программе, предписанной фирмой «Налко», включающей в себя ингибирование коррозии, добавление медного купороса, хлорирование, микробиологическую обработку и другие ее виды, что требует дополнительных затрат на реагенты. В эжекционных градириях можно уменьшить использование данных реагентов, так как эжекторы неприхотливы к качеству воды, а в случае забивания механическими примесями легко очищаются.

Таблица 2. – Градири и насосы, входящие в водоблок завода «Полимир»

Градирни	Расход воздуха, м³/ч	Расход воды, м³/ч	Мощность, кВт	Производство	Насосы	Расход воды, м³/ч	Давление Р, МПа	Мощность, кВт
СК-400	2905000	4000	160	Полиэтилен высокого давления (ВОЦ-1)	22НДС	3600	0,52	630
СК-400	2905000	4000	160		22НДС	3600	0,52	630
ВГ-В	2700000	2500	250		22НДС	3600	0,52	630
ВГ-В	2700000	2500	250		22НДС	3600	0,52	630
ВГ-В	2700000	2500	250		22НДС	3600	0,52	630
ВГ-В	2700000	2500	250		22НДС	3600	0,52	630
ВГ-В	2700000	2500	250		22НДС	3600	0,52	630
Сумма			1570		Сумма			3780
СК-400	2905000	4000	160	Мономеры (ВОЦ-2)	20НДС	3420	0,71	800
ВГ-В	2700000	2500	250		20НДС	3420	0,71	800
ВГ-В	2700000	2500	250		20НДС	3420	0,71	800
ВГ-В	2700000	2500	250		20НДС	3420	0,71	800
ВГ-В	2700000	2500	250		20НДС	3420	0,71	800
Сумма			910		Сумма			4000
СК-400	2905000	4000	160	Нитрон (ВОЦ-3)	20НДС	3420	0,71	800
СК-400	2905000	4000	160		20НДС	3420	0,71	800
СК-400	2905000	4000	160		20НДС	3420	0,71	800
СК-400	2905000	4000	160		20НДС	3420	0,71	800
СК-400	2905000	4000	160		20НДС	3420	0,71	800
Сумма			640		Сумма			4000
2ВГ-70	1100000	1000	75	Мапан, Воск (ВОЦ-4)	Д2500/62	2500	0,62	500
2ВГ-70	1100000	1000	75		Д2500/62	2500	0,62	500
2ВГ-70	1100000	1000	75		Д2500/62	2500	0,62	500
2ВГ-70	1100000	1000	75		300Д90	1260	0,54	250
2ВГ-70	1100000	1000	75		300Д90	1260	0,54	250
2ВГ-70	1100000	1000	75		300Д90	1260	0,54	250
Сумма			450		Сумма			2000
2ВГ-70	1100000	1000	75	Цех № 009 (ВОЦ-5)	Д2500/62	2000	0,34	250
2ВГ-70	1100000	1000	75		Д2500/62	2000	0,34	250
2ВГ-70	1100000	1000	75		Д2500/62	2000	0,34	250
2ВГ-70	1100000	1000	75		Д2500/62	2000	0,34	250
Эжекционные	1100000	1000			Д2500/62	2000	0,34	250
Сумма			300		Сумма			1250
Сумма выражена в денежном эквиваленте на дату проведения исследования.								

В заключение исследования можно сделать следующие **выводы**:

- создание безвентиляторной градирни позволяет значительно сократить эксплуатационные затраты;
- в конструкции градирни нет подвижных элементов, подверженных обледенению, что делает ее наиболее пригодной к эксплуатации в зимнее время по сравнению с вентиляторными градирнями;
- незначительное образование льда на стенках корпуса в зоне воздухоходных окон не препятствует нормальной эксплуатации градирни;
- использование эжекционных градирен на заводе «Полимир» позволит сэкономить более 3,5 МВт электроэнергии, не нарушая основных технологических режимов работы установок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пономаренко, В.С. Градирни промышленных и энергетических предприятий / В.С. Пономаренко, Ю.И. Арёфьев. – М. : Энергоатомиздат, 1998.
2. Гладков, В.А. Вентиляторные градирни / В.А. Гладков, Ю.И. Арёфьев, В.С. Пономаренко. – М. : Стройиздат, 1976.
3. Галустов, В.С. Прямоточные распылительные аппараты в теплоэнергетике / В.С. Галустов. – М. : Энергоатомиздат, 1989.
4. Гончаров, В.В. Брызгальные водоохладители ТЭЦ и АЭС / В.В. Гончаров. – Л. : Энергоатомиздат, 1989.
5. Курганов, А.М. Гидравлические расчеты систем водоснабжения и водоотведения : справочник / А.М. Курганов, Н.Ф. Федоров. – Л. : Стройиздат, 1986.
6. Сафронова, Е.В. Проблемы, возникающие при эксплуатации градирен промышленными предприятиями г. Новополюцка / Е.В. Сафронова, А.В. Спиридонов // Новое в технике и технологии в текстильной и легкой промышленности : материалы докл. междунар. науч.-техн. конф., 25–26 нояб. 2015 г. ; УО «ВГТУ». – Витебск. – С. 305–307.
7. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ooo-nt.ru>. – Дата доступа: 15.11.2016.
8. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.evromash.ru/articles/gradirni-ventilyatornye-17-article.html>. – Дата доступа: 15.11.2016.

Поступила 26.12.2016

IMPROVING ENERGY EFFICIENCY OF COOLING TOWERS THE PLANT “POLYMIR” OF JSC “NAFTAN”

A. SPIRIDONOV, E. SAFRONOVA

The paper provides a comparative analysis of the ejection fan and cooling towers and their advantages. The features of the work of ejectors in cooling towers, the possibility of reconstruction of the existing fan coolers are considered. Energy efficiency rating when using ejection of cooling towers is produced. It is shown that the existing cooling towers can be converted into the ejection, the body remains of the old tower, changing the body paneling, as necessary, repaired bearing structures, installed collector ejection nozzles. Those reconstruction can be carried out with little capital expenditure.

Keywords: cooling tower, energy efficiency, reconstruction, chillers, ejector.